

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-092516

(43)Date of publication of application : 06.04.2001

(51)Int.Cl. G05B 19/4103
B23Q 15/00

(21)Application number : 11-265042 (71)Applicant : HITACHI LTD
HITACHI SOFTWARE
ENG CO LTD

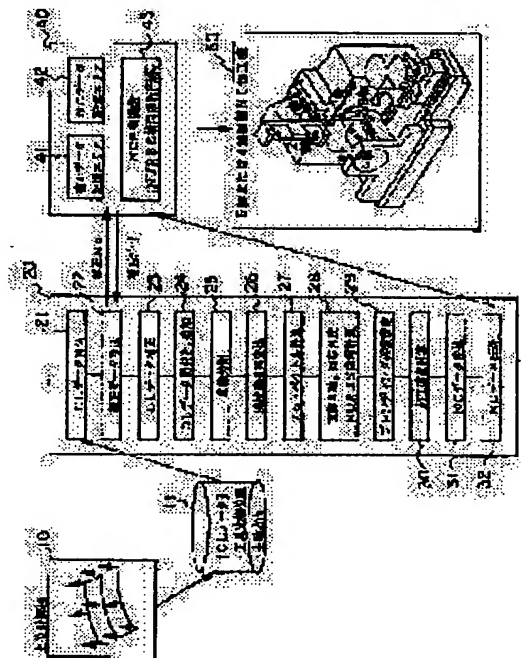
(22)Date of filing : 20.09.1999 (72)Inventor : HIRAI JUNICHI
ARAI HIROSHI
HARIHARA TAMOTSU
CHIBA OSAMU
TAKAHASHI MASAOKI

(54) NUMERICALLY CONTROLLED CURVED SURFACE WORKING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a numerically controlled curved surface working device capable of improving the roughness of a working surface and the accuracy of the working surface by smoothly moving and working a tool along an NURBS curve, executing a high speed working and sharply shortening the working manhour by omitting manual work.

SOLUTION: This working device is provided with a means for reading out CL data consisting of a tool tip position vector and a main axis direction vector in a work coordinate system, a means for converting the CL data into the positional vectors and rotational angles of three straight axes in a machine coordinate system on the basis of the constitution of a simultaneous multi-axes controlling NC working machine, a means for calculating a not vector of an optimum interval for a NURBS curve on the basis of the positional vectors and the rotational angles of the three straight axes, and a means for calculating NURBS curves for the three straight axes and a rotational axis on the basis of the not vector. The device is also provided with a means for converting the NURBS curves into NC data for interpolating NURBS, a means for converting the working speed of the work coordinate system into a minute feed working speed of the machine coordinate system and a means for transmitting the NC data to an NC working machine to execute an NURBS interpolated work.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-92516

(P2001-92516A)

(43) 公開日 平成13年4月6日 (2001.4.6)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマト* (参考)

G 0 5 B 19/4103

G 0 5 B 19/4103

A 5 H 2 6 9

B 2 3 Q 15/00

3 0 1

B 2 3 Q 15/00

3 0 1 B

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号

特願平11-265042

(22) 出願日

平成11年9月20日 (1999.9.20)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(71) 出願人 000233055

日立ソフトウェアエンジニアリング株式会社

神奈川県横浜市中区尾上町6丁目81番地

(72) 発明者 平井 純一

茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会社日立製作所日立事業所内

(74) 代理人 100066979

弁理士 鶴沼 辰之

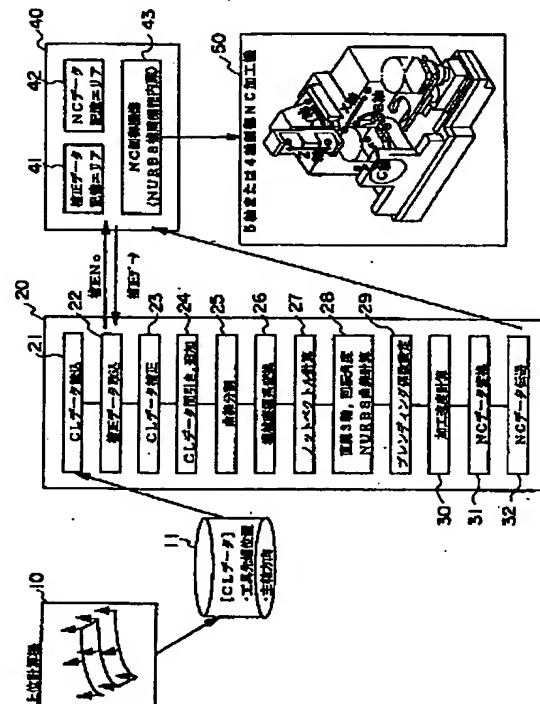
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 数値制御曲面加工装置

(57) 【要約】

【課題】 NURBS曲線に沿い滑らかに工具を動かして加工し、加工面粗さおよび加工面精度を良くするとともに高速加工を可能にし、手仕上げ作業を省略して加工工数を大幅に削減できる数値制御曲面加工装置を提供する。

【解決手段】 ワーク座標系で工具先端位置ベクトルと主軸方向ベクトルからなるCLデータを読み込む手段と、同時多軸制御NC加工機の構成に基づきCLデータを機械座標系の直線3軸の位置ベクトルと回転角度とに変換する手段と、直線3軸の位置ベクトルと回転角度とによりNURBS曲線の最適間隔のノットベクトルを計算する手段と、ノットベクトルにより直線3軸および回転軸のNURBS曲線を計算する手段と、NURBS曲線をNURBS補間用NCデータに変換する手段と、ワーク座標系の加工速度を機械座標系の毎分送り加工速度に変換する手段と、NCデータをNC加工機に伝送する手段を設け、NURBS補間加工する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 直線移動3軸と少なくとも1つの回転移動軸とを有し数値制御NURBS補間機能を持つ数値制御装置(NC装置)により数値制御される同時多軸制御NC加工機を含む数値制御曲面加工装置において、上位計算機で曲面形状が定義されたワーク座標系で加工経路方向に計算された工具先端位置ベクトルデータと工具主軸方向ベクトルとをCLデータとして読み込み、前記CLデータから前記同時多軸制御NC加工機の機械構成に基づき前記NC加工機を動作させるために機械座標系で直線3軸の位置ベクトルと回転角度とに変換する手段と、

機械座標系で計算された直線3軸の位置ベクトルと回転角度とに基づきNURBS曲線の最適な間隔のノットベクトルを計算する手段と、

前記ノットベクトルを用いて機械座標系の直線3軸および回転軸のNURBS曲線を各々計算する手段と、

前記NURBS曲線をNURBS補間用NCデータに変換する手段と、

前記ワーク座標系の加工速度を前記機械座標系の毎分送りの加工速度またはインバースタイム送りの加工速度に変換する手段と、

得られたNCデータを上記NC装置に伝送する手段とを備えたことを特徴とする数値制御曲面加工装置。

【請求項2】 請求項1に記載の数値制御曲面加工装置において、

前記CLデータとして読み込んだ段階で、前記曲面の加工精度に応じて、前記加工経路方向に並んだCLデータを間引くまたは追加する手段を備えたことを特徴とする数値制御曲面加工装置。

【請求項3】 請求項1または2に記載の数値制御曲面加工装置において、

前記CLデータとして読み込んだ段階で、各工具の個体差に基づく補正値を前記NC装置から読み取り、読み込んだ前記CLデータを前記工具の補正値に応じて補正する手段を備えたことを特徴とする数値制御曲面加工装置。

【請求項4】 請求項1ないし3のいずれか一項に記載の数値制御曲面加工装置において、

前記加工経路方向に並んだCLデータの曲率またはCLデータの間隔に基づきNURBS曲線を分割する手段を備えたことを特徴とする数値制御曲面加工装置。

【請求項5】 請求項1ないし4のいずれか一項に記載の数値制御曲面加工装置において、

前記加工経路方向に並んだ機械座標系の直線3軸の位置ベクトルの弦長をノットベクトルとしてNURBS曲線を計算する手段を備えたことを特徴とする数値制御曲面加工装置。

【請求項6】 請求項1ないし4のいずれか一項に記載の数値制御曲面加工装置において、

前記加工経路方向に並んだ機械座標系の直線3軸の位置ベクトルの弦長およびワーク座標系の工具先端位置ベクトルの弦長のそれぞれに係数を乗じて足しあわせた弦長をノットベクトルとしてNURBS曲線を計算する手段を備えたことを特徴とする数値制御曲面加工装置。

【請求項7】 請求項1ないし6のいずれか一項に記載の数値制御曲面加工装置において、

機械座標系で計算された直線3軸の位置ベクトルおよび回転軸の回転角度が、各々B-spline補間、Bezier補間、Coons補間、多項式、直線と円弧との組合せのいずれかの曲線で定義される時、前記曲線をNURBS補間に変換する手段を備えたことを特徴とする数値制御曲面加工装置。

【請求項8】 請求項1または5、6、7のいずれか一項に記載の数値制御曲面加工装置において、

複数のNURBS曲線の接点で加工精度の範囲内で曲率が連続的に変化するようにNURBS曲線を修正または追加し1本のNURBS曲線または曲率が連続する複数本のNURBS曲線を作成する手段を備えたことを特徴とする数値制御曲面加工装置。

【請求項9】 請求項1ないし8のいずれか一項に記載の数値制御曲面加工装置において、

CLデータの主軸方向ベクトルを所定値とし直線3軸のみの同時3軸制御NC加工機用のNURBS補間NCデータに変換する手段を備えたことを特徴とする数値制御曲面加工装置。

【請求項10】 請求項1ないし9のいずれか一項に記載の数値制御曲面加工装置において、

工作物を螺旋状または一筆書きの経路で加工するためのCLデータを求める手段を備えたことを特徴とする数値制御曲面加工装置。

【請求項11】 請求項1ないし10のいずれか一項に記載の数値制御曲面加工装置において、

同時多軸加工機用の直線補間NCデータを読み込みCLデータに変換する手段を備えたことを特徴とする数値制御曲面加工装置。

【請求項12】 請求項1ないし11のいずれか一項に記載の数値制御曲面加工装置において、

必ず通過させたいCLデータを指定する手段を備えたことを特徴とする数値制御曲面加工装置。

【請求項13】 直線移動3軸と少なくとも1つの回転移動軸とを有し数値制御NURBS補間機能を持つ数値制御装置(NC装置)により数値制御される同時多軸制御NC加工機を含む数値制御曲面加工装置において、機械座標系で計算された直線3軸および回転軸のNURBS曲線を読み込む手段と、

ワーク座標系で計算されたCLデータを読み込む手段と、

CLデータの工具先端中心位置ベクトルからNURBS曲線を計算する手段と、

CLデータの主軸方向ベクトルからNURBS曲線を計算する手段と、

機械座標系の直線3軸および回転軸のNURBS曲線から所定の加工精度で各々の点列データを計算する手段と、

上記点列データを機械座標系からワーク座標系のCLデータに変換する手段と、

前記ワーク座標系に変換されたCLデータとワーク座標系で計算された工具先端位置ベクトルのNURBS曲線および主軸方向ベクトルのNURBS曲線各々との誤差を計算する手段とを備えたことを特徴とする数値制御曲面加工装置。

【請求項14】 請求項13に記載の数値制御曲面加工装置において、

誤差の計算結果に基づき機械座標系のNURBS曲線の制御点またはノットベクトルまたはウェイトを修正する手段を備えたことを特徴とする数値制御曲面加工装置。

【請求項15】 請求項13または14に記載の数値制御曲面加工装置において、

工具補正量をNC装置から読み取ってワーク座標系で計算されたCLデータを補正值に応じて変換する手段を備えたことを特徴とする数値制御曲面加工装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、数値制御曲面加工装置に係り、特に、加工面粗さおよび加工面精度を良くするとともに高速加工を可能にする数値制御曲面加工装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の数値制御(NC)曲面加工においては、図2(a)に示すように、折れ線近似で加工されており、加工面粗さが悪く、多くの手仕上げ工数を要する。また、図2(b)に示すように、位置決め時の加減速により、平均送り速度が低下し、加工時間が長く、しかも、加工面精度を上げるには、細かいピッチでの膨大なNCデータが必要であるという問題があった。

【0003】特開9-114512号公報は、加工面精度の

$$N_{i,k}(t) = \frac{(t - x_i)N_{i,k-1}(t)}{x_{i+k-1} - x_i} + \frac{(x_{i+k} - t)N_{i+1,k-1}(t)}{x_{i+k} - x_{i+1}}$$

【0010】

【数3】

$$P(t) = \frac{\sum_{i=0}^n N_{i,k}(t) w_i P_i}{\sum_{i=0}^n N_{i,k}(t) w_i} \quad (x_0 \leq t \leq x_m)$$

【0011】NURBS補間指令は、以下のようなフォーマット

向上およびNCデータ量の削減を目的として、NC工作機械による曲面加工方法を提案している。しかし、この従来方法でも、折れ線近似による加工面粗さの低下と位置決め時の加減速による平均送り速度の低下という問題は、依然として残っていた。

【0004】これらの問題を解決するために、図3に示すNURBS曲線による補間方法が提案された。NURBS曲線とは、Non-Uniform Rational B-spline曲線の略であって、不等間隔有理化Bスプライン曲線である。NURBS曲線は、Bスプライン曲線の一種であり、曲線を構成する節点の間隔が不均一な有理式を用いて表現される曲線のことである。他の曲線が、曲線の定義に多項式を用いているのに対して、NURBS曲線は、有理式を用いていることが特徴である。

【0005】これらを制御すると、曲線を局所的に容易に変形できる。また、他の曲線では正確に表現できなかった円柱、円錐、球、双曲線、楕円、放物線を統一的に取り扱うことが可能になる。

【0006】図3において、NURBS曲線は、曲線を制御点 P_i 、ウェイト w_i 、ノットベクトル x_i により定義する。ここで、 k は階数、 P_i は制御点、 w_i はウェイト、 x_i はノット($x_i \leq x_{i+1}$)、 $[x_0, x_1, \dots, x_m]$ ($m = n + k$)はノットベクトル、 t はスプラインパラメータとする。

【0007】スプライン基底関数 $N(t)$ をde Boor-Coxの再帰式で表現すると、数式(1)、(2)のようになる。補間するNURBS曲線 $P(t)$ は、数式(3)のようになる。

【0008】

【数1】

$$N_{i,1}(t) = \begin{cases} 1 & (x_i \leq t \leq x_{i+1}) \\ 0 & (t < x_i, x_{i+1} < t) \end{cases}$$

【0009】

【数2】

G05P10000 ; (高精度輪郭制御モードON)

...

G06.2

[P_]K_X_Y_Z_α_β_[R_][F_] ;

K_X_Y_Z_α_β_[R_] ;

K_X_Y_Z_α_β_[R_] ;

K_X_Y_Z_α_β_[R_] ;

...

K_X_Y_Z_α_β_[R_] ;

K_ ;

...

K_ ;

G01...

...

G05P0 ; (高精度輪郭制御モードOFF)

で出力される。それぞれのコードは、

G06.2 : NURBS補間モードON

P : NURBS曲線の階数

K_X_Y_Z_α_β_ : 制御点

(α, β : 回転軸指令)

R : ウェイト

K : ノット

F : 速度

という意味を持つ。

【0012】NURBS補間加工においては、図2(c)に示すように、曲線を滑らかに加工できるため、手仕上げ工数が少ない。また、図2(d)に示すように、位置決め時の加減速が滑らかになって、平均送り速度が上がるので、加工時間を短くでき、高速加工が可能である。さらに、NURBS補間の制御点を効率良く設定できるから、NCデータが少なくなる利点があるとされている。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】従来のNURBS補間方法では、型加工を目的として直線3軸の同時加工が可能であった。『機械と工具』(1998年2月号)の12~17頁には、タービンプレード、水車インペラなどの高能率加工を目的として、「NURBS補間と滑らか補間による高速高精度加工」という表題で、回転2軸を含めた同時5軸加工に機能が拡張された加工方法が示されている。

【0014】また、『型技術』(1998年7月号)の8, 9頁には、「付加軸NURBS補間加工による高品位加工面の創成」という表題で、同時5軸NURBS補間機能を用いたソフトウェアによるタービンプレード加工方法が示されている。この加工方法では、ノットベクトルの間隔が等ピッチであり、NURBS曲線の特徴であるノットベクトルによる曲線の制御に関する配慮が足りないという問題があった。

【0015】この従来技術では、ワーク座標系で計算したNURBS曲線の制御点を主軸方向ベクトルに

じて機械座標系に座標変換した結果をそのまま5軸NURBS補間の制御点に適用し、ワーク座標系のノットベクトルと同じノットベクトルを5軸NURBS補間に適用している。

【0016】ところが、一般的には、座標変換後も同じノットベクトルを使用して滑らかな曲線が得られるという保証はない。そのため、加工面の一部にうねりや歪みができる可能性があった。

【0017】また、この従来技術は、工具先端位置と曲面との接触点のオフセット量が小さいボールエンドミル加工を対象としており、工具先端位置と曲面との接触点とのオフセット量が大きいラジアスエンドミル加工を対象としていない。このため、オフセット量の大きさに応じて、うねりや歪みができる可能性が高い。

【0018】このような状況から、ワーク座標系で計算したNURBS曲線を主軸方向ベクトル傾斜角に応じて機械座標系に座標変換したNCデータを用いて、曲面を5軸NURBS補間で滑らかに加工するためのノットベクトルや制御点を計算する方法の開発が望まれていた。

【0019】本発明の目的は、NURBS曲線に沿って滑らかに工具を動かして加工し、加工面粗さおよび加工面精度を良くするとともに高速加工を可能にし、手仕上げ作業を省略して加工工数を大幅に削減できる数値制御曲面加工装置を提供することである。

【0020】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記目的を達成するために、直線移動3軸と少なくとも1つの回転移動軸とを有し数値制御NURBS補間機能を持つ数値制御装置(NC装置)により数値制御される同時多軸制御NC加工機を含む数値制御曲面加工装置において、上位計算機で曲面形状が定義されたワーク座標系で加工経路方向に計算された工具先端位置ベクトルデータと工具主軸方向ベクトルとをCLデータとして読み込み、CLデータから同時多軸制御NC加工機の機械構成に基づきNC加工機を動作させるために機械座標系で直線3軸の位置ベクトルと回転角度とに変換する手段と、機械座標系で計算された直線3軸の位置ベクトルと回転角度とに基づきNURBS曲線の最適な間隔のノットベクトルを計算する手段と、ノットベクトルを用いて機械座標系の直線3軸および回転軸のNURBS曲線を各々計算する手段と、NURBS曲線をNURBS補間用NCデータに変換する手段と、ワーク座標系の加工速度を機械座標系の毎分送りの加工速度またはインバースタイム送りの加工速度に変換する手段と、得られたNCデータを上記NC装置に伝送する手段とを備えた数値制御曲面加工装置を提案する。

【0021】前記CLデータとして読み込んだ段階で、前記曲面の加工精度に応じて、前記加工経路方向に並んだCLデータを間引くまたは追加する手段を備えることができる。

【0022】前記CLデータとして読み込んだ段階で、各工具の個体差に基づく補正値を前記NC装置から読み取り、読み込んだ前記CLデータを前記工具の補正値に応じて補正する手段を備えることも可能である。

【0023】前記加工経路方向に並んだCLデータの曲率またはCLデータの間隔に基づきNURBS曲線を分割する手段を備えてもよい。

【0024】前記加工経路方向に並んだ機械座標系の直線3軸の位置ベクトルの弦長をノットベクトルとしてNURBS曲線を計算する手段を備えることもできる。

【0025】前記加工経路方向に並んだ機械座標系の直線3軸の位置ベクトルの弦長およびワーク座標系の工具先端位置ベクトルの弦長のそれぞれに係数を乗じて足しあわせた弦長をノットベクトルとしてNURBS曲線を計算する手段を備えることも可能である。

【0026】機械座標系で計算された直線3軸の位置ベクトルおよび回転軸の回転角度が、各々B-spline補間、Bezier補間、Coons補間、多項式、直線と円弧との組合せのいずれかの曲線で定義される時、前記曲線をNURBS補間に変換する手段を備えてもよい。

【0027】複数のNURBS曲線の接続点で加工精度の範囲内で曲率が連続的に変化するようにNURBS曲線を修正または追加し1本のNURBS曲線または曲率が連続する複数本のNURBS曲線を作成する手段を備えることが望ましい。

【0028】CLデータの主軸方向ベクトルを所定値とし直線3軸のみの同時3軸制御NC加工機用のNURBS補間NCデータに変換する手段を備えることができる。

【0029】工作物を螺旋状または一筆書きの経路で加工するためのCLデータを求める手段を備えてもよい。

【0030】同時多軸加工機用の直線補間NCデータを読み込みCLデータに変換する手段を備えることも可能である。

【0031】必ず通過させたいCLデータを指定する手段を備える場合もある。

【0032】本発明は、また、上記目的を達成するために、直線移動3軸と少なくとも1つの回転移動軸とを有し数値制御NURBS補間機能を持つ数値制御装置(NC装置)により数値制御される同時多軸制御NC加工機を含む数値制御曲面加工装置において、機械座標系で計算された直線3軸および回転軸のNURBS曲線を読み込む手段と、ワーク座標系で計算されたCLデータを読み込む手段と、CLデータの工具先端中心位置ベクトルからNURBS曲線を計算する手段と、CLデータの主軸方向ベクトルからNURBS曲線を計算する手段と、機械座標系の直線3軸および回転軸のNURBS曲線から所定の加工精度で各々の点列データを計算する手段と、上記点列データを機械座標系からワーク座標系のC

Lデータに変換する手段と、前記ワーク座標系に変換されたCLデータとワーク座標系で計算された工具先端位置ベクトルのNURBS曲線および主軸方向ベクトルのNURBS曲線各々との誤差を計算する手段とを備えた数値制御曲面加工装置を提案する。

【0033】誤差の計算結果に基づき機械座標系のNURBS曲線の制御点またはノットベクトルまたはウエイトを修正する手段を備えることができる。

【0034】工具補正量をNC装置から読み取ってワーク座標系で計算されたCLデータを補正値に応じて変換する手段を備えることも可能である。

【0035】

【発明の実施の形態】次に、図1～図17を参照して、本発明による数値制御曲面加工装置の実施例を説明する。

【0036】図1は、本発明による数値制御曲面加工装置の実施例の全体構成を示すブロック図である。上位計算機10は、曲面形状が定義された座標系(ワーク座標系)において加工経路方向に計算された工具先端位置ベクトルと主軸方向ベクトルとをCLデータとして外部ファイル11に格納する。

【0037】ステップ21で、本数値制御曲面加工装置の計算機20は、外部ファイル11からCLデータ読み込む。

【0038】NCデータ作成時に想定した工具長、工具径と実物の工具長、工具径との間には、誤差が必ず存在する。

【0039】ステップ22で、計算機20は、前記誤差を補正するために、工具補正Noを指示し、NC装置40に対して補正データの出力を要求する。NC装置40は、指示された補正Noに対応する補正データを補正データ記憶エリア41から読み出し、計算機20に出力する。計算機20は、NC装置40から出力された補正データを読み込む。

【0040】ステップ23で、計算機20は、補正したい方向に応じて、図4および(4)数式に示す方式で、CLデータを補正する。ここで、Cは工具先端位置ベクトル、Dは主軸方向ベクトル、PはCにおける切削点位置ベクトル、NはPでの法線ベクトルである。C1は主軸方向にd1だけ補正し、C2は法線方向にd2だけ補正し、C3は工具径方向にd3だけ補正した工具先端位置ベクトルである。

【0041】

【数4】

$$C_1 = C + d_1 D$$

$$C_2 = C + d_2 N$$

$$C_3 = C + \frac{D \times N \times D}{|D \times N \times D|} d_3$$

【0042】通常のCLデータは、工具先端位置ベクトルと主軸方向ベクトルとを意味するので、C1のみの補正が可能である。加えて、CLデータを計算する時使用した切削点位置ベクトルと法線ベクトルとが分かっているならば、上記C2, C3の補正やC1, C2, C3を組合せた補正が可能である。この方法で、CLデータを補正すると、補正したNURBS補間用NCデータ作成が可能になる。

【0043】なお、上記『機械と工具』の「NURBS補間と滑らかな補間による高速高精度加工」におけるNURBS補間機能では、補正が許されていなかった。

【0044】ステップ24で、図5に示す方式によって、加工精度を向上させる一方、データ量を削減するために、CLデータの間引きまたは追加を実行する。まず、工具先端位置ベクトルから最小2乗近似法により通過曲線を計算し、NURBS曲線51とし、ステップ52で、一定のトレランスの範囲外にあるCLデータを間引く。

【0045】NURBS曲線は、図3および(1),(2),(3)数式のNURBS曲線の定義で与えられる。点列からNURBS曲線を作成する方法は、例えば、Les Piegl, Wayne Tiller著『The NURBS Book』などに記載されている。

【0046】次に、間引いたCLデータの主軸方向ベクトルを基に、NURBS曲線53を計算する。ステップ54で、工具先端位置ベクトルの通過点に対応するNURBS曲線53上の主軸方向ベクトルを計算し、角度の変化量を計算する。元のCLデータとの差が公差値よりも大きければ、通過点を追加し、精度を向上させる。間引きまたは追加のための公差値は、0.01mmに設定してある。

【0047】ステップ25で、ステップ24で計算されたNURBS曲線53を分割する。図6は、工具先端位置ベクトルの軌跡を示している。工具先端位置ベクトルのNURBS曲線(すなわちG06.2工具経路64)と折れ線工具経路(すなわちG01工具経路65)とから、パス分割位置63を求める。通過点の距離間隔が急になつたり、折れ線の角度が急変すると、NURBS曲線に乱れが生じる。そこで、間隔が短くなる箇所および折れ線の角度が大きく変化する箇所を見つけ出し、その点を曲線のパス分割点63として、パス分割点63で曲線を分割し、曲線の精度を向上させる。

【0048】ステップ26で、CLデータを機械座標系に座標変換する。図1のテーブル2軸タイプの5軸加工機50でC軸テーブル回転中心とB軸回転中心とが直交した交点を機械座標系原点Omとする。C軸テーブル上にワークがセットされ、ワーク座標系原点がOwであるとする。このときに、機械座標系原点Omから見たワーク座標系Owの位置ベクトルをSとすると、ワーク座標系の工具先端位置ベクトル(X, Y, Z), 主軸方向ベ

トル(I, J, K)から、機械座標(Mx, My, Mz, B, C)への座標変換は、図7の座標系および数式(5),(6),(7),(8),(9)で表現できる。

【0049】

【数5】

$$\begin{aligned} W &= (X, Y, Z) \\ D &= (I, J, K) \\ Wa &= (Y, Z, X) \\ Da &= (J, K, I) = (Dai, Daj, Dak) \\ S &= (Xs, Ys, Zs) \\ Ws &= Wa + S = (Wax, Way, Waz) \end{aligned}$$

【0050】

【数6】

$$\begin{aligned} C &= \tan^{-1}(Daj / Dai) \\ B &= \tan\left(\sqrt{Dai^2 + Daj^2} / Dak\right) \end{aligned}$$

【0051】

【数7】

$$\begin{aligned} Mc &= \begin{bmatrix} \cos(-C) & -\sin(-C) & 0 \\ \sin(-C) & \cos(-C) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ Mb &= \begin{bmatrix} \cos(-B) & 0 & \sin(-B) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(-B) & 0 & \cos(-B) \end{bmatrix} \end{aligned}$$

【0052】

【数8】

$$\begin{bmatrix} Mx \\ My \\ Mz \end{bmatrix} = MbMc \begin{bmatrix} Wax \\ Way \\ Waz \end{bmatrix}$$

【0053】

【数9】

$$M = (Mx, My, Mz, B, C)$$

【0054】ここで、(Mx, My, Mz, B, C)は、X, Y, Z, B, C各機械軸の座標値を表す。この座標変換式は、各加工機に固有である。この変換方式は、テーブル1軸とテーブル1軸タイプ、主軸2軸タイプの加工機についても同様に設定できる。

【0055】従来技術では、ワーク座標系で計算したNURBS曲線の制御点を主軸方向ベクトルに応じて機械座標系に座標変換した結果をそのまま5軸NURBS補間の制御点に適用し、ワーク座標系のノットベクトルと同じノットベクトルを5軸NURBS補間に適用している。

【0056】ところが、一般的には、座標変換後も同じノットベクトルを使用して滑らかな曲線が得られるという保証はない。そのため、加工面の一部にうねりや歪み

ができる可能性があった。

【0057】これに対して、本発明では、図8(b)に示すように、各機械座標系間の弦長をノットベクトルとして使用し、(Mx, My, Mz)の直線3軸と(B, C)の回転2軸との機械座標系でのNURBS曲線の制御点を、それぞれが連続的に滑らかに変化するように再計算させることにより、加工精度を向上させている。

【0058】ステップ27で、ノットベクトルを計算する。図8のステップ81で、上記数式(5),(6),(7),(8),(9)を用いて、最初に全通過点の機械座標系(Mx, My, Mz, B, C)を計算する。各機械座標間の弦長(Li)を計算し、図8(b)のノットベクトルとする。(Mx, My, Mz)と(B, C)のノットベクトルとは、同じものを使用する。

【0059】ステップ28で、ワーク座標系のCLデータから機械座標系に変換された(Mx, My, Mz)の直線3軸と(B, C)の回転2軸の点列データとステップ27で計算したノットベクトルとから、上記『The NURBS Book』などに示されているNURBS曲線の作成方法により、数式(1),(2),(3)で表されるNURBS曲線を作成する。

【0060】ステップ28で、図8(b)のノットベクトルと図3および数式(1),(2),(3)のNURBS曲線の定義を用いて、直線3軸(Mx, My, Mz)および回転角度2軸(B, C)のNURBS曲線を計算する。

【0061】ステップ29で、ブレンド係数を計算する。図9(a)に示すように、ステップ28で計算したNURBS曲線を用いて加工した場合、曲線に膨らみが発生し、加工結果に凹凸91が生じる可能性がある。これに対処するため、まず、図9(b)に示すように、ステップ24で間引いた点92を含めてより精度を上げて、ワーク座標系の工具先端位置ベクトルの弦長を計算し、ワーク座標系のノットベクトルとする。次に、機械座標系のノットベクトルとワーク座標系のノットベクトルとに、ブレンド係数をそれぞれかけて加算して得られたノットベクトルを機械座標系のノットベクトルとして採用する。

【0062】このようにすると、加工結果の凹凸91に対処できる。本実施例では、ブレンド係数を3:1に設定したところ、スムーズに加工ができた。なお、この係数は、加工物に対応して変更できる。

【0063】ステップ30で、機械座標系での加工速度を計算する。ワーク座標系での始点を(Xws, Yws, Zws), 終点を(Xwe, Ywe, Zwe), 弦長をLw, 加工速度をFw, 機械座標系での始点を(Xms, Yms, Zms), 終点を(Xme, Yme, Zme), 弦長をLm, 加工速度をFmすると、機械座標系の加工速度Fmは、数式(10)により与えられる。

【0064】

【数10】

$$Lw = \sqrt{(Xwe - Xws)^2 + (Ywe - Yws)^2 + (Zwe - Zws)^2}$$

$$Lw = \sqrt{(Xme - Xms)^2 + (Yme - Yms)^2 + (Zme - Zms)^2}$$

$$Fm = Fw \cdot Lm / Lw$$

【0065】なお、加工速度を時間の逆数で与える方式(インバースタイム送り)がある。その場合、機械座標系での加工速度Fmは、数式(11)で与えられる。

【0066】

【数11】

$$Fm = Fw / Lw$$

【0067】ステップ31では、ステップ28, 29, 30で計算した機械座標系の直線3軸のNURBS曲線の制御点を図3のNURBS補間指令のX, Y, Zに代入し、回転角度2軸のNURBS曲線の制御点を α , β に代入し、ノットベクトルをKに代入し、ウエイトをRに代入し、加工速度FmをFに代入し、図3のNURBS補間指令のフォーマットに従い、NCデータに変換する。

【0068】ステップ32で、最後に変換されたNCデータを計算機20からのNCデータとして伝送し、NC制御装置40のNCデータ記憶エリア42に読み込み格納する。

【0069】NC制御装置40のNURBS補間機能を内蔵するNC制御機構43は、NCデータ記憶エリア42からNCデータを読み出し、解析しながら5軸または4軸制御NC加工機50を制御し、NC加工を実行する。

【0070】次に、複数のNURBS曲線を1本のNURBS曲線にする方法の実施例を説明する。図10(a)は接点101でつながった2本のNURBS曲線を示している。図10(b)に示すように、接点101の近傍で2つのNURBS曲線に対して加工精度範囲内の微小Rのフィレットを追加すると、連続するNURBS曲線を作成できる。

【0071】図11(a)は、図10(b)の点線で囲まれた部分を拡大した図である。ここで矢印は、曲率半径を表現している。図11(a)においては、特にフィレットの接点で、曲率半径が不連続である。この場合、図11(b)に示すように、加工精度範囲内で曲率が連続するように曲線を変形すると、その曲率半径を連続的に変化させることができる。NC制御装置40は、NURBS補間の終点で速度が低下するために、曲面に凹みが生じる。これに対処するには、このNURBS曲線の変形方法が有効である。

【0072】図12(a)に示すように、加工するためのNURBS曲線間のつながりを始点121と終点122を結ぶ直線で実行している場合がある。この時始点121とNURBS曲線とは不連続であり、曲線123を通過すれば、加工時に凹みが発生する可能性がある。

【0073】この凹みの発生に対処するため、本発明では、図12(b)に示すように、始点121におけるNURBS曲線の接線方向に沿い一旦逃げて、加工面との干渉が発生しない経由点125を通り、終点122の接線方向に沿い接近するNURBS曲線124に変更する。このようにすると、連続加工が可能なNURBS曲線を計算できる。

【0074】ちなみに、図13(a)に示す閉じた曲線の集合で加工する方法から、図13(b)に示す螺旋状に連続した1本の曲線で加工する方法に変更すると、連続した1本のNURBS曲線に沿って加工できるようになり、作業効率も加工精度も上がる。

【0075】機械座標系で計算された直線3軸の位置ベクトルおよび回転角度が、B-spline補間またはBezier補間のいずれかの曲線で定義される時、図14(a)および数式(12)はBezierでNURBS補間への変換方法を示し、図14(b)および数式(13)はB-splineでNURBS補間への変換方法を示す。ここで、 Q_i は制御点、 T はノットベクトル、 $N_{i,4}(t)$ は基底関数である。Coons補間で定義される時は、図14(c)および数式(14)は、Bezier補間に変換できるので、図14(a)および数式を用いてNURBS補間式に変換することが可能である。ここ

$$T = [t_0 \ t_1 \ t_2 \ t_3 \ t_4 \ t_5 \ t_6 \ t_7] \\ = [-3 \ -2 \ -1 \ 0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4]$$

$$\text{曲線式: } P(t) = N_{0,4}(t)Q_0 + N_{1,4}(t)Q_1 + N_{2,4}(t)Q_2 + N_{3,4}(t)Q_3$$

$$N_{0,4}(t) = \frac{1}{6}(1-t)^3$$

$$N_{1,4}(t) = \frac{1}{2}t^3 - t^2 + \frac{2}{3}$$

$$N_{2,4}(t) = -\frac{1}{2}t^3 + \frac{1}{2}t^2 + \frac{1}{2}t + \frac{1}{6}$$

$$N_{3,4}(t) = \frac{1}{6}t^3$$

$$(0 \leq t \leq 1)$$

【0078】

【数14】

$$Q_{c0} = Q_{B0}$$

$$Q_{c1} = Q_{B3}$$

$$\dot{Q}_{C0} = -3Q_{B0} + 3Q_{B1} = 3(Q_{B1} - Q_{B0})$$

$$\dot{Q}_{C1} = -3Q_{B2} + 3Q_{B3} = 3(Q_{B3} - Q_{B2})$$

【0079】CLデータの主軸方向ベクトルを一定の値にすれば、機械座標系での回転角度は一定値になる。したがって、本発明による数値制御曲面加工装置を用いれば、直線3軸のみの同時3軸制御NC加工機用のNURBS補間NCデータを作成することが可能になる。

【0080】次に、機械座標系のNURBS曲線の精度確認方法と修正方法とを説明する。機械座標系からワー

で、 Q_b はBezier補間の制御点、 Q_c はCoons補間を構成するためのベクトルである。多項式で定義される時は、点列を発生させてNURBS曲線に変換するか、または、多項式を直接NURBSの補間式に変換すると、NURBS補間が可能になる。円弧と直線との連続で定義される時は、直線、円弧それぞれのNURBS変換式が与えられているので、それを用いてNURBS補間に変換できる。

【0076】

【数12】

$$T = [t_0 \ t_1 \ t_2 \ t_3 \ t_4 \ t_5 \ t_6 \ t_7] \\ = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$$

$$N_{0,4}(t) = (1-t)^3$$

$$N_{1,4}(t) = 3(1-t)^2t$$

$$N_{2,4}(t) = 3(1-t)t^2$$

$$N_{3,4}(t) = t^3$$

$$(0 \leq t \leq 1)$$

【0077】

【数13】

ク座標系への変換方法は、図7の逆変換であり、図15に示す(15),(16),(17),(18),(19)数式で与えられる。これらの数式で用いる記号は、図7と同じである。

【0081】

【数15】

$$M = (M_x, M_y, M_z, B, C)$$

【0082】

【数16】

$$Mc = \begin{bmatrix} \cos(C) & -\sin(C) & 0 \\ \sin(C) & \cos(C) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Mb = \begin{bmatrix} \cos(B) & 0 & \sin(B) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(B) & 0 & \cos(B) \end{bmatrix}$$

【0083】

【数17】

$$\begin{bmatrix} Wax \\ Way \\ Waz \end{bmatrix} = McMb \begin{bmatrix} Mx \\ My \\ Mz \end{bmatrix}$$

【0084】

【数18】

$$Dak = \sin(B)$$

$$Daj = \cos(B) \sin(C)$$

$$Dai = \cos(B) \cos(C)$$

【0085】

【数19】

$$Da = (J, K, I) = (Dai, Daj, Dak)$$

$$S = (Xs, Ys, Zs)$$

$$Wa = (Wax, Way, Waz) - S = (Y, Z, X)$$

$$W = (X, Y, Z)$$

$$D = (I, J, K)$$

【0086】機械座標系で計算された直線3軸、回転角度のNURBS曲線から任意のピッチで点列データを計算する。計算した点列データを、図15の座標系および数式(15),(16),(17),(18),(19)を用いて、ワーク座標系のCLデータに変換する。変換したCLデータを図4で補正した方向とは逆方向に補正して、補正前のCLデータを計算する。

【0087】図16に示すように、図1で入力した座標系のCLデータ11から『The NURBS Book』などに示されているNURBS曲線の作成方法により、数式(1),(2),(3)で表されるNURBS曲線151と、各点での主軸方向ベクトル152とを計算する。補正後のCLデータとNURBS曲線151および主軸方向ベクトル152とを比較し、精度を確認する。

【0088】比較方法としては、計算処理で誤差を計算し、ディスプレイまたはプロッタにビジュアル表示することが考えられる。すなわち、機械座標系から変換されたCLデータの点列を重ね描きし、精度を確認する。

【0089】153に示すような精度から外れる場合の修正方法を図17に示す。ここでNURBS曲線の制御点Wiは、ウェイトを示している。修正方法としては、制御点N2をN2'に変更する、Wiを変更する、ノットベクトルの間隔を変更するという3種類の変更方法を採用できる。

【0090】次に、同時4軸または同時5軸加工機用の直線補間NCデータを読み込み、NURBS補間用NCデータに変換する方法を示す。直線補間用NCデータを読み込み、NCの不要なコードなどを取り除き、機械座標系の直線3軸および回転1軸または2軸の回転角度を計算する。

【0091】図15の座標系および数式(15),(16),(17),(18),(19)を用いて、機械座標系からワーク座標系のCLデータに変換し、図1のCLデータファイル11に格納する。このデータによれば、図1の本発明の曲面加工装置を用いて、NURBS補間用NCデータを計算することが可能になる。

【0092】加工物の形状精度を上げるために、必ず通過させたい点、範囲、線があるという状況が生ずる。その場合は、例えば、図5で採用した通過点以外の通過させたい点を指示して通過点を増やすと、形状精度を上げた曲面加工が可能になる。

【0093】

【発明の効果】本発明の数値制御曲面加工装置によれば、NURBS曲線に沿って滑らかに工具を動かして、機械加工することが可能である。したがって、加工面粗さおよび加工面精度が良い曲面加工が可能となり、手仕上げ作業を省略でき、加工工数を大幅に低減できる。また、NCデータ量を削減できるので、サーボ機構による平均送り速度の低下を回避でき、高速加工が可能になる。さらに、本発明では、形状の変形を考慮した微小な調整もできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による数値制御曲面加工装置の実施例の系統構成を示すブロック図である。

【図2】従来の直線補間加工方法と従来のNURBS補間加工方法とを比較して示す図である。

【図3】NURBS曲線と制御点との関係を示す図である。

【図4】CLデータの補正方法の一例を示す図である。

【図5】本発明によるCLデータの間引きまたは追加の方法を示す図である。

【図6】本発明によるNURBS曲線の分割の方法を示す図である。

【図7】本発明によるワーク座標系から機械座標系への変換における座標系相互の関係を示す図である。

【図8】本発明によるノットベクトル計算および機械座標系のNURBS曲線計算の方式を示す図である。

【図9】本発明によるブレンディング係数設定によるNURBS曲線のスムーズ化の方式を示す図である。

【図10】本発明によるフィレットR挿入で曲線を1本化する方法を示す図である。

【図11】本発明による形状修正で曲率半径を連続化する方法を示す図である。

【図12】本発明によるつなぎ工具経路の曲線化で連続

加工する方法を示す図である。

【図13】本発明による工具経路の螺旋化で曲線を1本化する方法を示す図である。

【図14】他の補間方式からNURBS補間への本発明による変換方式を示す図である。

【図15】本発明による機械座標系からワーク座標系への変換(逆変換)における座標系相互の関係を示す図である。

【図16】本発明による機械座標系のNURBS曲線の評価方法を示す図である。

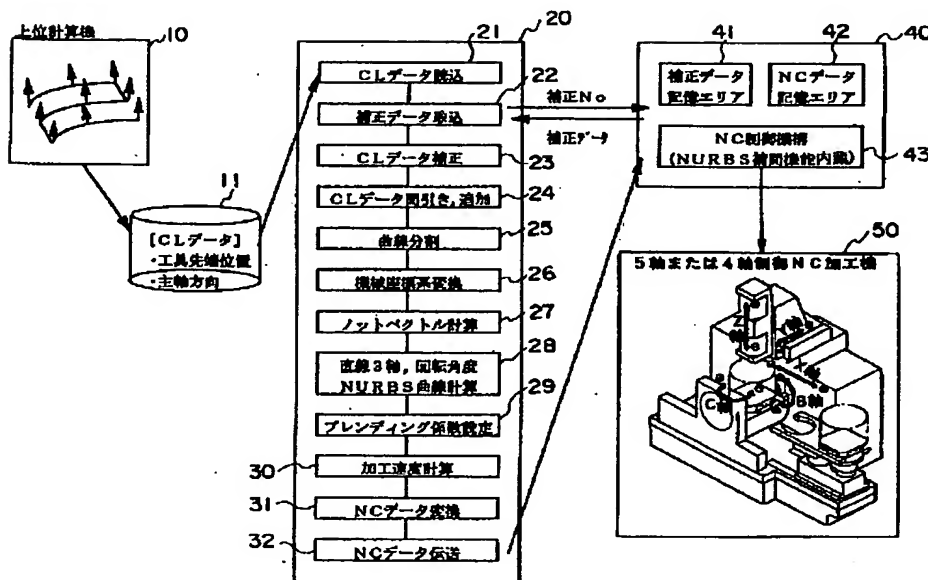
【図17】本発明によるNURBS曲線の変更の方法を

示す図である。

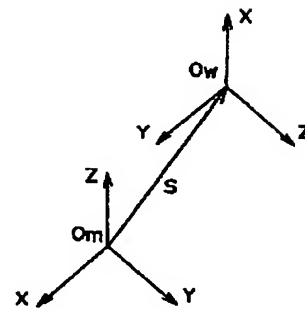
【符号の説明】

- 10 上位計算機
- 11 CLデータ格納用外部ファイル
- 20 本方式を実行する計算機
- 40 数値制御装置
- 41 補正データ格納エリア
- 42 NCデータ格納エリア
- 43 NC制御機構
- 5 5軸または4軸制御NC加工機

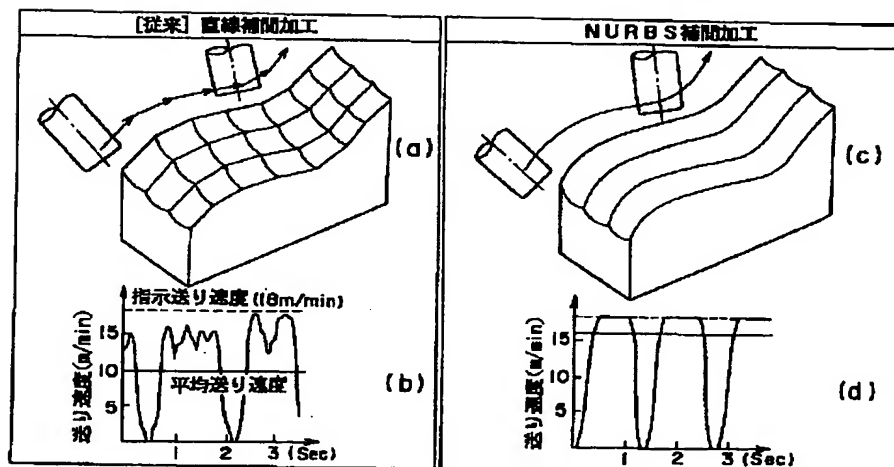
【図1】



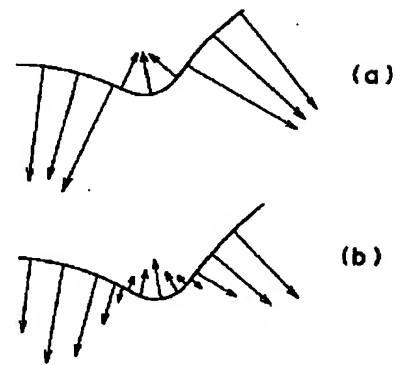
【図7】



【図2】



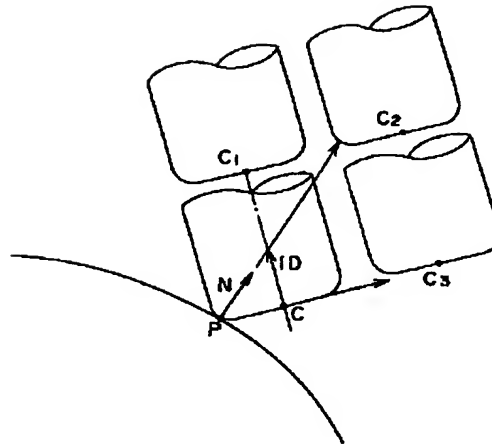
【図11】



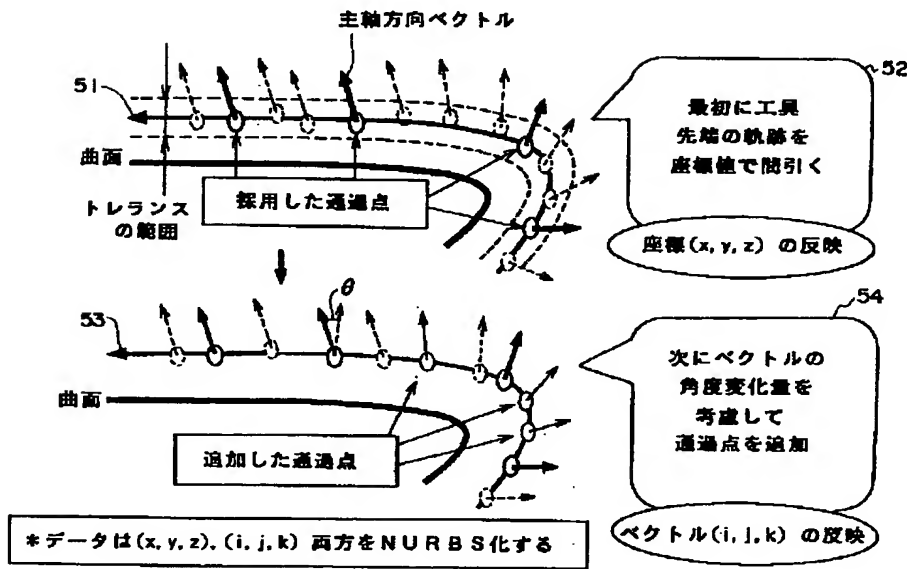
【図3】



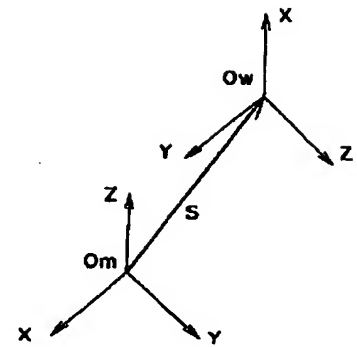
【図4】



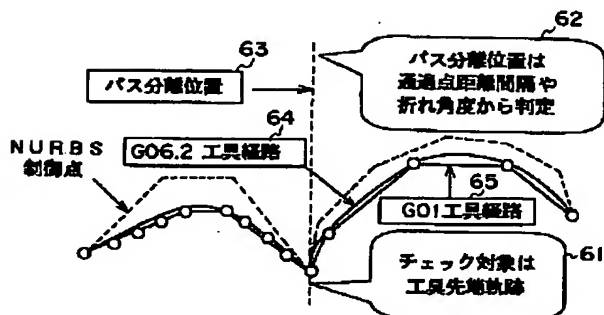
【図5】



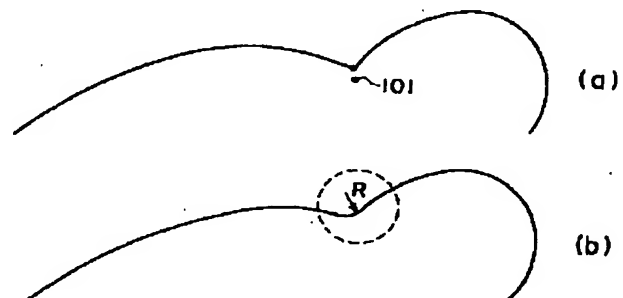
【図15】



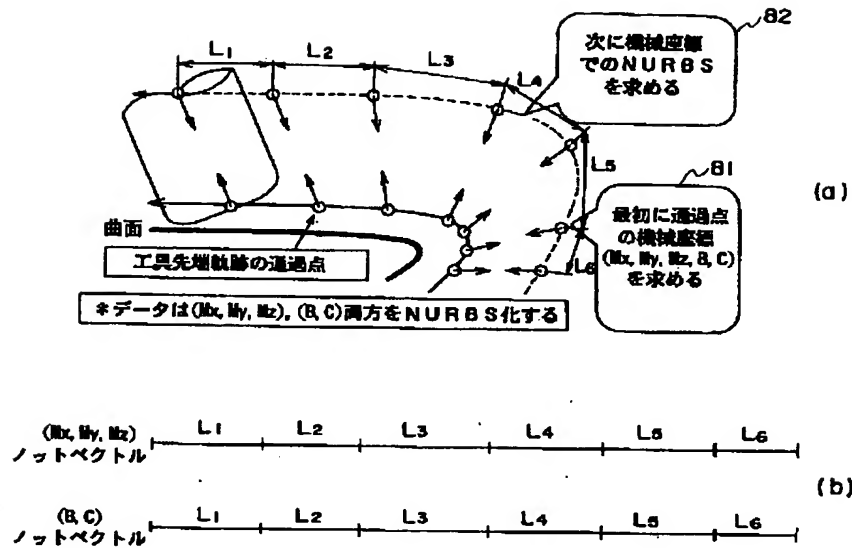
【図6】



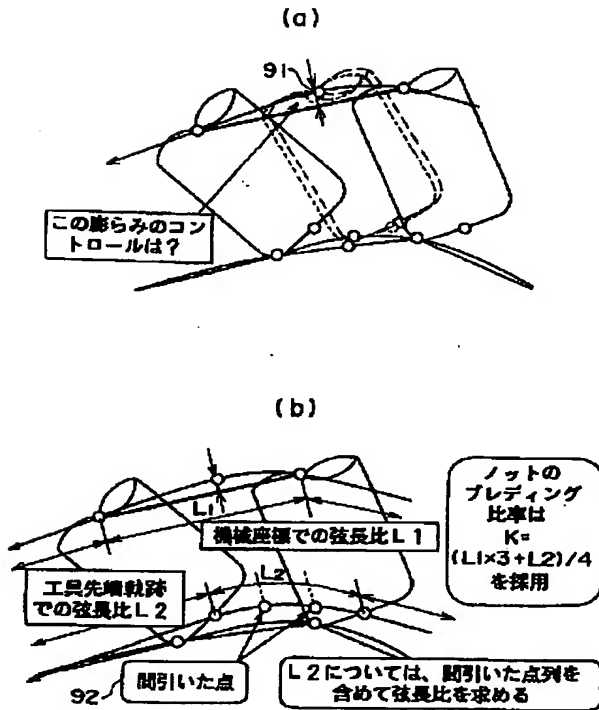
【図10】



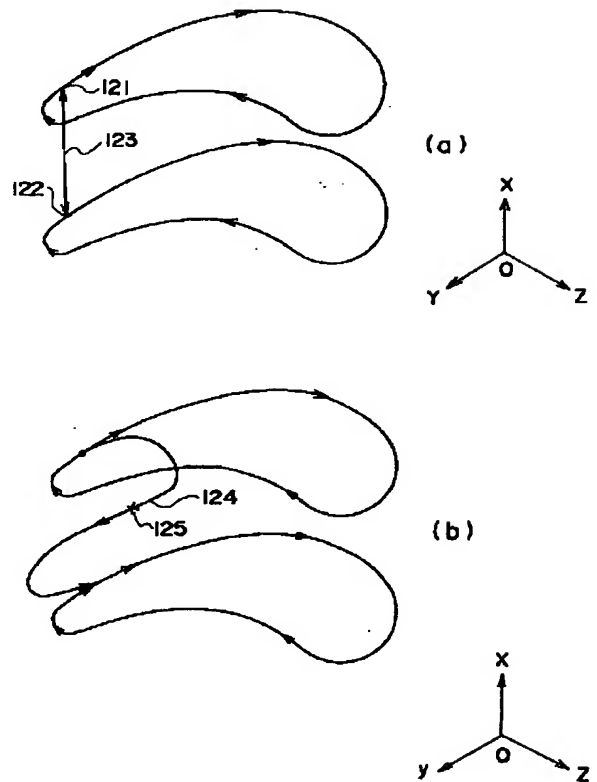
【図8】



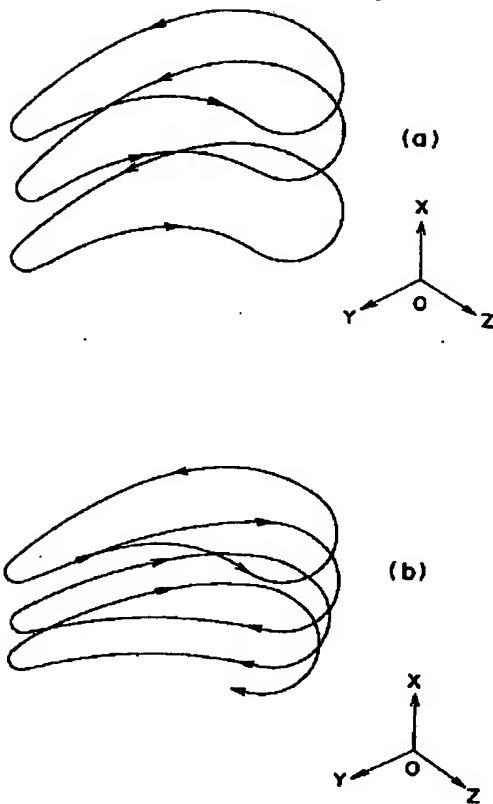
【図9】



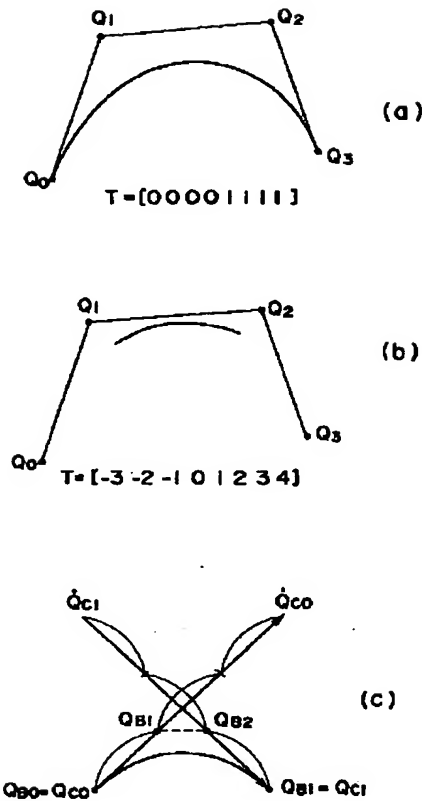
【図12】



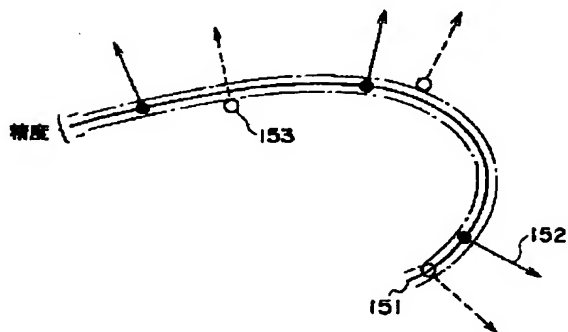
【図13】



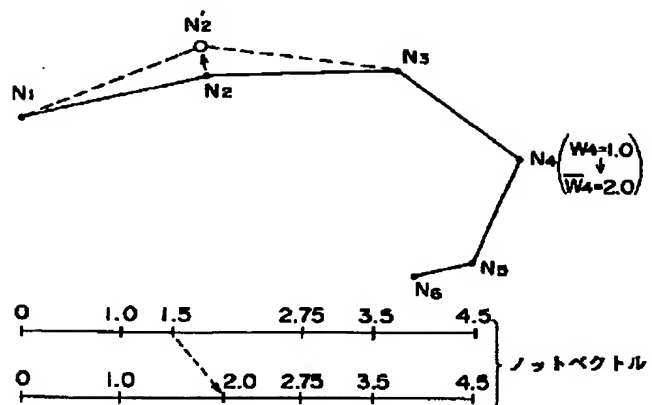
【図14】



【図16】



【図17】



【手続補正書】

【提出日】平成12年10月5日(2000.10.5)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0063

【補正方法】変更

【補正内容】

【0063】ステップ30で、機械座標系での加工速度を計算する。ワーク座標系での始点を(X_{ws} , Y_{ws} , Z_{ws}), 終点を(X_{we} , Y_{we} , Z_{we}), 弦長を L_w , 加工速度を F_w , 機械座標系での始点を(X_{ms} , Y_{ms} , Z_{ms} , B_{ms} , C_{ms}), 終点を(X_m

e, Yme, Zme, Bme, Cme), 弦長をLm,
加工速度をFmすると、機械座標系の加工速度Fmは、
数式(10)により与えられる。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0064

【補正方法】変更

【補正内容】

【0064】

【数10】

$$Lw = \sqrt{(Xwe - Xws)^2 + (Ywe - Yws)^2 + (Zwe - Zws)^2}$$

$$Lm = \sqrt{(Xme - Xms)^2 + (Yme - Yms)^2 + (Zme - Zms)^2 + (Bme - Bms)^2 + (Cme - Cms)^2}$$

$$Fm = Fw \cdot Lm / Lw$$

フロントページの続き

(72)発明者 荒井 宏
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株
式会社日立製作所日立研究所内
(72)発明者 針原 保
神奈川県横浜市中区尾上町六丁目81番地
日立ソフトウェアエンジニアリング株式会
社

(72)発明者 千葉 修
茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会
社日立製作所日立事業所内
(72)発明者 高橋 正明
茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会
社日立製作所火力・水力事業部内
Fターム(参考) 5H269 AB01 CC02 DD01 EE01 EE05
EE11 QA05 QB15 RB11